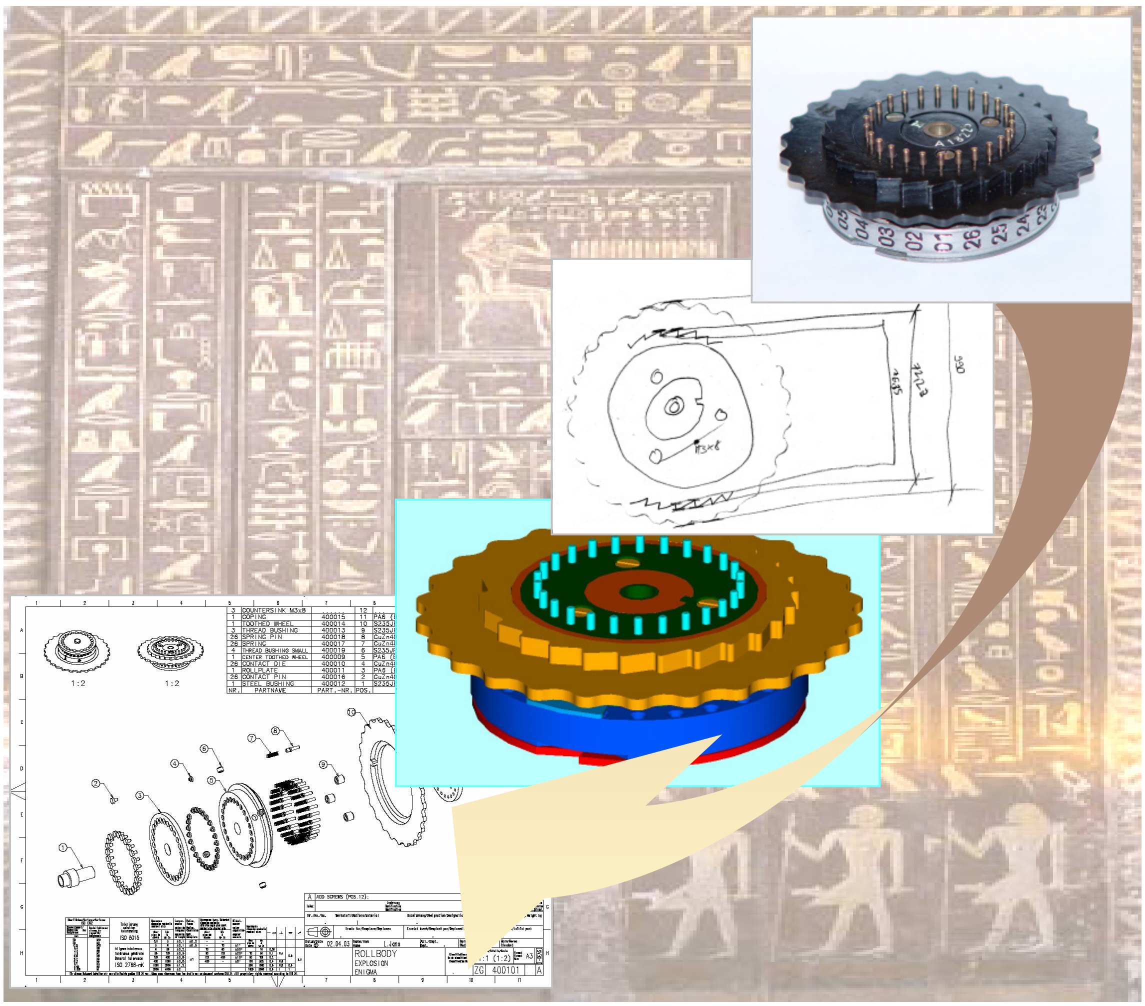
Scientific Project

DIE ENIGMA

Nachbau der legendären Chiffriermaschine



Bearbeitung Luzia Jans
Kurs Mechatronik
Betreuer Prof. Dr. Dipl. Phys. Ertel
Fachhochschule Weingarten, Januar 2004

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung

1.1 Aufgabendefinition

Der ursprüngliche Impuls zum Nachbau der legendären deutschen Chiffriermaschine Enigma stammt von Professor Ertel.
Die Enigma soll zukünftig innerhalb der Vorlesungen eingesetzt werden, um die Anfänge der modernen Datensicherung eindrucksvoll und plastisch zu demonstrieren. Da nur noch wenige Originalgeräte vorhanden sind, sind diese entsprechend wertvoll und schwer zu erhalten. Deshalb entsteht die Idee, diese Maschine durch Studenten eigenständig und originalsgetreu zu fertigen.
Um eine Fertigung der Enigma umzusetzen, werden durch die vorliegende Arbeit die einzelnen Komponenten der Enigma zunächst zeichnerisch erfasst. Da diese, wie bereits angesprochen, eine möglichst genaue Kopie darstellen sollen, basieren die Zeichnungen auf Ableitungen der Originalbauteile. Zur Vorbeugung von Messfehlern wird mit Hilfe des 3D-CAD Systems IDEAS die Baugruppe simuliert und hinsichtlich Schnittstellen und Interferenzen untersucht.
Somit ist am Ende dieser Arbeit die Fertigung der Enigma ohne jegliche Vorkenntnisse allein unter Verwendung des Zeichnungssatzes möglich. Dennoch gibt dieser Bericht einige zusätzliche Informationen zur Funktion der Enigma im allgemeinen und der einzelnen Komponenten im speziellen. Die Beschreibung der bisherigen Projektgeschichte zeigt Probleme und Schwierigkeiten auf, welche im weiteren Verlauf vermieden werden können.

1.2 Geschichte und Funktion der Enigma

Die wahrscheinlich bekannteste historische Chiffriermaschine, die deutsche Enigma, verdankt ihren Ruhm nicht etwa ihrer erstaunlichen Technik und Funktion, sondern vielmehr der Tatsache, dass sie entscheidend den Ausgang des Zweiten Weltkrieges bestimmt hat.

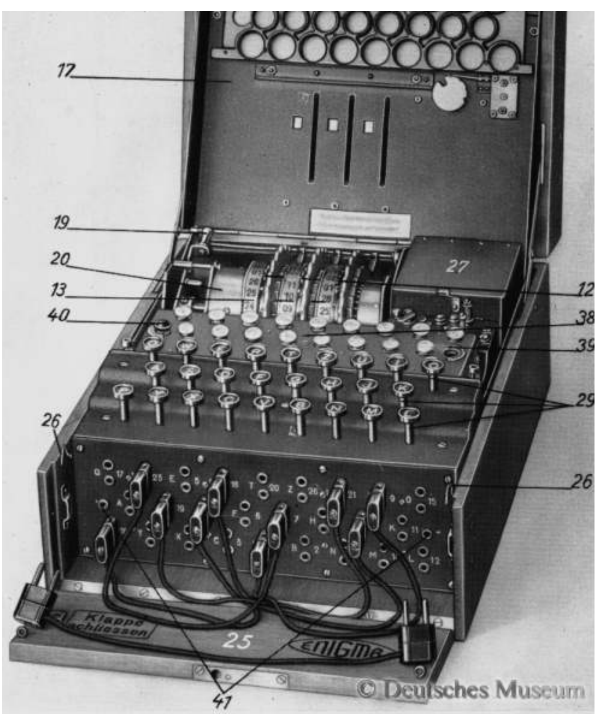


Abbildung 1: Enigma (Original Deutsches Museum)

Erfunden wird das Prinzip der Rotormaschine bereits in den Jahren 1918-1920 recht zeitgleich von verschiedenen Personen, unter denen sich auch der deutsche Ingenieur Arthur Scherbius (1878–1929) befindet. Ist die Maschine zunächst noch auf dem freien Markt erhältlich, so wird sie bald im Zeichen eines bevorstehenden Krieges vom Militär unter Verschluss gehalten und im geheimen weiterentwickelt.
Während des Zweiten Weltkrieges werden mit Hilfe der batteriebetriebenen Enigma die meisten Nachrichten der deutschen Wehrmacht übermittelt, die Folge ist, dass schätzungsweise 200000 dieser Maschinen zum Einsatz kommen, von denen jedoch nur wenige bis zum heutigen Tag erhalten bleiben. Die Deutschen wiegen sich aufgrund ständig verbesserter Techniken in der Sicherheit, abhörfreie Kommunikation betreiben zu können. So ist in Abbildung 1 das Steckbrett (41) eine zusätzliche technische Raffinesse, welches die Chiffrierfähigkeiten deutlich erhöht. Durch Einsatz verschiedener Walzen (13) wird die Enigma weiterhin ausgebaut.
Jedoch entwickeln die Alliierten im englischen Bletchley Park nahe Londons bald effektive Möglichkeiten, am Tag bis zu 4000 Nachrichten zu entschlüsseln. Dazu sind etwa 10000 Mitarbeiter nötig, die unter der Leitung von Alan Turing die Dechiffrierung durchführen. Hierfür ist allerdings die Kenntnis über die Funktion der Enigma erforderlich, wie sie in Abbildung 2 schematisch aufgezeigt wird.

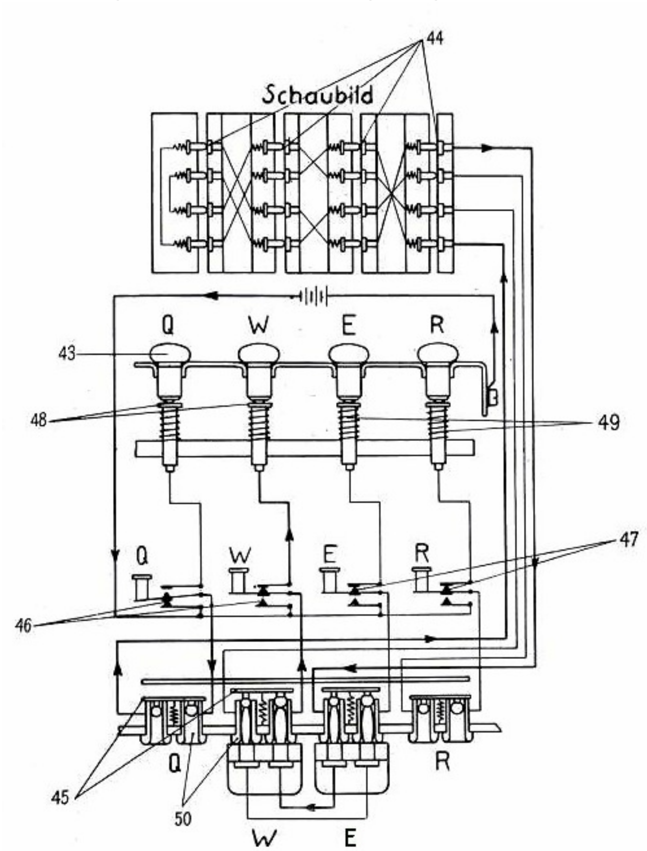


Abbildung 2: Schaltplan der Enigma

Insgesamt beruht das Prinzip auf einfachen Stromkreisen, welche bei jedem Tastendruck neu gestaltet werden. Dadurch schließt sich zunächst der zugehörige Kontakt (46/47) und der Strom wird in die Walzen (44) und aufgrund des Reflektors (linke Walze im Bild) wieder heraus geführt. Das Ergebnis ist jeweils im Aufleuchten eines Lämpchens (43) zu erkennen.
Da die Walzen, wie in obiger Abbildung dargestellt, so aufgebaut sind, dass ihr Eingang und Ausgang aufgrund der Verdrahtungen gegeneinander verschoben sind, wird das Eingangssignal chiffriert. Durch unterschiedliche Stellungsmöglichkeiten der Walzen zueinander, die Wahl zwischen verschiedenen Walzen, sowie das Hinzufügen zusätzlicher

Walzen erhöhen sich die Möglichkeiten der Verschlüsselung beträchtlich. Weiterhin zeigt Abbildung 2 den Effekt des Steckbrettes auf, welches die Kopplung von einzelnen Buchstabenpaaren erlaubt.
Nachdem nun im vorliegenden Beispiel die Taste des Buchstabens Q gedrückt wird, fließt der Strom zuerst durch die Walzen und wird dort in das Signal E umgewandelt. Dieser Buchstabe wird jedoch aufgrund der Steckbrettverkabelung in das Signal W transferiert. Somit ist der Ausgang der Walzen nochmals verändert worden. Da das Steckbrett nur selektiv wirkt, wird hier beispielsweise nur der Ausgang E modifiziert.
Zusätzlich wird aufgrund einer mechanischen Kopplung zwischen Tastatur und Walzen bei jedem Tastendruck die Walzenstellung zueinander verändert. Dies hat den Effekt, dass ein gleicher Eingangsbuchstabe nie denselben Ausgang aufweist. Damit ergibt sich für die Enigma eine Periode von 16900.
Weiterhin bedeutet dieser Effekt, dass für die Dechiffrierung einer Nachricht neben dem Besitz einer Enigma die aktuelle Walzenstellung bekannt sein muss. Aus diesem Grund übermitteln die Deutschen an jedem Tagesbeginn mit der alten Walzenstellung den Code der neuen Walzenstellung. Da dieser Code äußerst wichtig ist, wird er zweimal hintereinander übermittelt, wobei die zweite Nachricht bereits die Wirkung der Walzendrehung beinhaltet. Diese tückische Vorsichtsmaßnahme hilft nun den Alliierten, die Enigma schließlich zu knacken.

2 Projektverlauf

2.1 Umsetzung

Der Nachbau stellt nach Möglichkeit eine realistische Kopie der Chiffriermaschine Enigma dar. Deshalb wird zu Beginn des Projektes im Februar 2003 ein Originalgerät der WTS Koblenz von zwei Studenten, Herrn Ermurat und Herrn Ho, untersucht, in seine Einzelteile zerlegt und anschließend vermaßt. Das Ergebnis hiervon sind zahlreiche Photos und handgefertigte Skizzen, sowie die Kenntnis über Funktionalität und Komponenten der Enigma.
Als nächster Projektschritt ist die Detaillierung dieser Skizzen vorgesehen, auf die sich die hier beschriebene Arbeit konzentriert. So werden zunächst die Handskizzen genau ausgearbeitet. Diese Informationen ermöglichen die Erstellung eines CAD Datensatzes, welcher eine Schnittstellenüberprüfung der einzelnen Bauteile gestattet. Aufgrund dieser Betrachtungen werden die Bauteile in ihren Bemaßungen toleriert, es werden geeignete Werkstoffe zugewiesen, Normteile ausgewählt und Stücklisten hinzugefügt. Abschließend wird ein logisch zusammenhängender Zeichnungssatz erstellt, der später eine reibungslose Fertigung ermöglicht.
Am Ende dieser Prozesskette ist man in der Lage, die Fertigung der mechanischen Komponenten zu starten. Diese soll ebenfalls von Studenten mitgetragen werden. Für die elektronischen Feinheiten werden bei Bedarf Studenten der Fachrichtung Elektrotechnik hinzugezogen.
Das eigentliche Ziel ist dann zunächst die Fertigung eines Prototyps, wobei die erfolgreiche Bewältigung eine Fortführung der Fertigung nahe legt. Die erreichten Ergebnisse werden in dokumentarischer Form weiterhin unter anderem über eine Internetseite einem breiten Interessentenkreis zugänglich sein.

2.2 Problematik und Lösungsansätze

Bei der Durchführung eines Projekts driften meist Idee und Wirklichkeit auseinander. Nachfolgend werden in chronologischer Reihenfolge die aufgetretenen Schwierigkeiten und die gefundenen Lösungen aufgelistet. Weiterhin werden Verbesserungsvorschläge

angefügt, die bei den folgenden Bearbeitungsschritten oder einem ähnlichen neuen Projekt beachtet werden sollten, um einen reibungsfreien Ablauf zu ermöglichen.

2.2.1 Detaillierung der Handskizzen

Die zunächst triviale Aufgabe weist einige Probleme auf. Beim Betrachten von Abbildung 3 kann erahnt werden, dass die Handskizzen nicht einfach und schnell in detaillierte Zeichnungen umgesetzt werden können. Teilweise fehlen Maße, die Geometrie ist zu unpräzise dargestellt oder die Ansichten stimmen einfach nicht miteinander überein. Das wiederum bedeutet, dass die Modellierung vorerst nur eingeschränkt erfolgen kann.
Diese Erscheinung wird leider noch durch die mangelnde Kenntnis der Maschine der weiteren Projektmitarbeiter verstärkt. Das bedeutet, dass die Bauteile zunächst nur schlecht einer bestimmten Funktion oder einem Bauraum und den zugehörigen Schnittstellen zugeordnet werden können. Dem Ersteller der Skizzen hingegen mögen die gegebenen Informationen aufgrund eines vorhandenen Basiswissens hierfür bereits ausreichen.

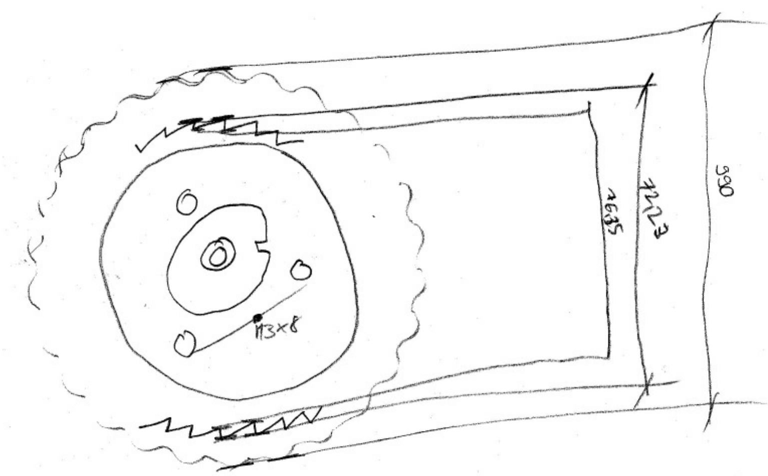


Abbildung 3: Handskizze des Toothed Wheels

Folglich ist der Ausgleich der zeichnerischen Defizite anfangs nicht möglich und es müssen Annahmen getroffen werden, so dass die Geometrie des Bauteils in etwa erreicht wird. Hierzu sind die während des Besuchs in Koblenz erstellten Photos hilfreich, obwohl hieraus oftmals die gewünschte Detailinformation nicht ersichtlich wird.
Insgesamt wäre wohl von Vorteil, wenn die Skizzen ausführlicher gestaltet wären, oder wenn mehrere Personen einen Blick auf die reale Enigma werfen könnten.

2.2.2 Zeichnungsdarstellung

Aufgrund Lizenzrechten erfolgt ein Teil der Zeichnungserstellung mit dem frei verfügbaren Programm QCad. Dieses ist ein reines 2D-System und bietet die nötigsten Funktionen zur Zeichnungserstellung an. Wie in Abbildung 4 aufgezeigt, ist das Programm jedoch keineswegs ausgereift, sondern weist in der Darstellung zahlreiche Schwachstellen auf.
Referenzlinien und Maßlinien sind wild über die gesamte Zeichnungsoberfläche gezogen und fallen häufig mit Körperkanten zusammen, sodass eine Unterscheidung schwer möglich ist. Aus diesem Grund fordern die für die Fertigung verantwortlichen Studenten, da diese nicht die nötigen Bauteilkenntnisse besitzen, um die Zeichnungen richtig zu interpretieren, eine Neuerstellung von diesen. Dann soll ein besonderes Augenmerk auf die Lesbarkeit und Übersichtlichkeit gelegt werden. Dies ist mit dem Programm QCad jedoch nur sehr schwer möglich.

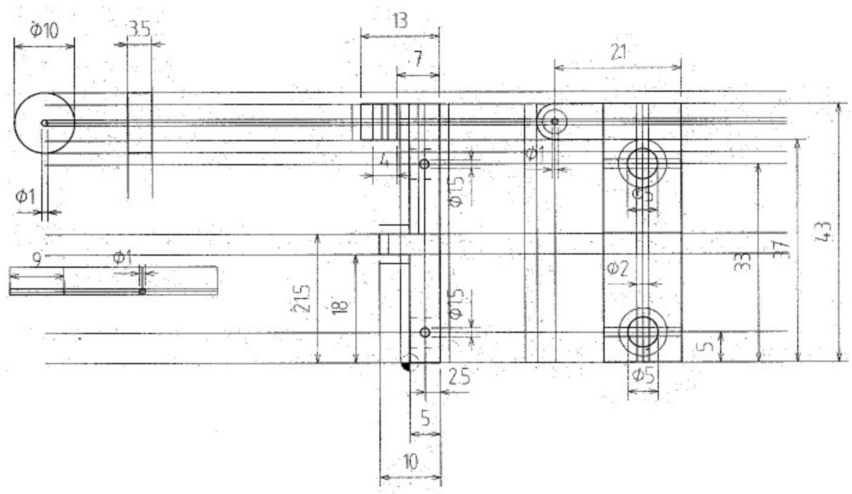


Abbildung 4: Zeichnung des Roll Retainers (mit System QCad erstellt)

Folglich sollte zukünftig auf den Einsatz von solcher Software verzichtet werden.

2.2.3 Bauteilmodellierung

Nachdem die mit Hilfe des Systems QCad erstellten Zeichnungen nur mangelnde Qualität aufweisen und das Programm zudem eine geringe Anwenderfreundlichkeit besitzt ist es erforderlich, für die komplexeren Bauteile auf ein kommerzielles System umzusteigen. Aufgrund lizenztechnischen Gegebenheiten wird hierfür das CAD-System IDEAS gewählt.
Die bereits vorhandenen Zeichnungen stellen eine reine 2D-Abbildung der Komponenten dar, sind jedoch in ihrer Bemaßung nicht überprüft. Aus diesem Grund wird eine Nachmodellierung der einzelnen Bauteile in IDEAS empfohlen, die einerseits zur Zeichnungskontrolle dient und auch eine optische und analytische Kollisionsbetrachtung, ähnlich Abbildung 5, mit einschließt.
Bei diesem Vorgang werden einige Bauteilüberschneidungen festgestellt und zahlreiche fehlende oder fehlerhafte Maße durch Approximation angepasst. Dies zeigt deutlich den Nachteil eines reinen 2D-Systems, welches eine absolute Übersicht und Kenntnis des Zeichners erfordert, da es die Wechselwirkung zwischen einzelnen Bauteilen nicht berücksichtigt.

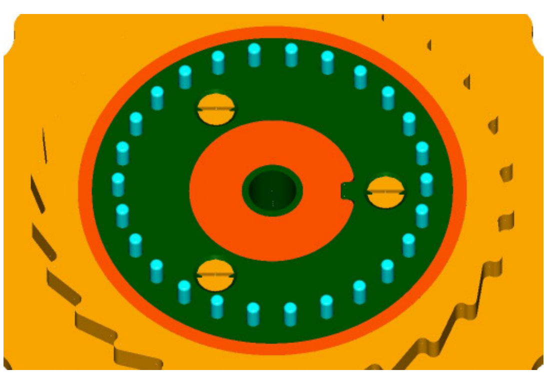


Abbildung 5: Beispiel für optische Kollisionsüberprüfung

Es muss nun eine Entscheidung getroffen werden, ob die fehlerhaften vorhandenen QCad Zeichnungen, welche bekanntlich ein schlechtes Layout besitzen, dem neuen bauraumoptimierten Design angepasst werden oder ob vollständig auf das assoziative System IDEAS umgestiegen wird. Die Wahl fällt auf letzteres. So werden schließlich alle Bauteile der Enigma in IDEAS modelliert, überprüft und in neuen Zeichnungen abgeleitet.

Aufgrund der Schnittstellen ergeben sich Toleranzen, die nun ebenfalls berücksichtigt werden. Der Aufbau dieser Zeichnungen ist im Detail unter 4.1 erläutert.
Wünschenswert ist ein einheitliches System, welches, wie IDEAS, die Vorzüge der 3D-Modellierung besitzt und so eine Bauraumuntersuchung ermöglicht, bevor die Teile für die Fertigung freigegeben werden. Dies bedeutet eine Kosten- und Zeitoptimierung.

3 Komponenten der Enigma

3.1 Baugruppenstrukturierung

Aufgrund der Übersichtlichkeit wird bei der Zeichnungserstellung Wert auf eine logische Zusammengehörigkeit der einzelnen Komponenten und Baugruppen gelegt. Diese bilden jeweils für sich autarke Einheiten, müssen jedoch in den Schnittstellen zu anderen Komponenten stimmen. Innerhalb dieses Kapitels werden die Baugruppen in ihren Funktionen und Charakteristiken erläutert. Hier finden sich Informationen zu Montage und wichtigen Merkmalen. Die jeweiligen ZG-Nummern verweisen auf die im Anhang enthaltenen zugehörigen Explosionszeichnungen.
Allgemein muss noch erwähnt werden, dass die Mitarbeit ausländischer Studenten eine englische Namensgebung erfordert. Dies bedingt nun jedoch eine leicht eingeschränkte Formulierungsweise. Im Text werden weiterhin aus Gründen der Verständlichkeit den Bauteilen häufig Farben zugewiesen.

3.1.1 ZG-300100 Reverse Roll

Die Reverse Roll ist der Reflektor des Walzensystems. Hier wird das Signal, nachdem es bereits alle Walzen einmal durchlaufen hat umgekehrt, sodass es nochmals alle Walzen durchkreuzt.

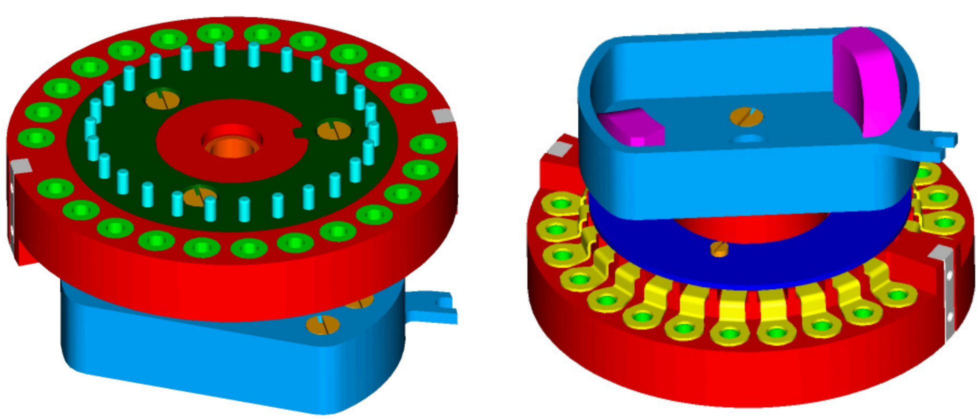


Abbildung 6: Reverse Roll

Die zyanfarbenen Pins berühren die Contact Pins der vorangegangenen letzten Walze. Fließt durch einen dieser Pins ein Strom, wird er aufgrund der angelöteten gelben Blanks zu den grünen Bushings weitergeführt. Danach wird das Signal reflektiert. Um diese Aufgabe zu erfüllen, müssen der Reverse Roll jedoch Stecker hinzugefügt werden, welche anhand Abbildung 6 jeweils zwei der Bushings miteinander verbinden. Mit Hilfe der Stecker wird der Strom somit über die verbundene Bushing und den zugehörigen Pin auf die Walze rücktransferiert.
Aus Abbildung 6 wird weiterhin ersichtlich, dass nur 12 Steckerverbindungen frei wählbar sind, ein Buchstabenpaar ist über ein Kabel direkt miteinander fest verlötet. Deshalb findet zum Schutz weiterhin eine dunkelblaue Isolator Plate ihren Einsatz. Aufgrund der

beschriebenen Funktionalität ist der Körper der Reverse Roll aus isolierendem Material gefertigt und wird auf die stählerne orange Axle aufgepresst.
Weiterhin werden die Pins durch Federkraft an die Contact Pins der Walzen gedrückt. Hierfür werden aufgrund der räumlichen Vorgabe geeignete Federn ausgewählt. Inwieweit diese jedoch die Anforderungen bezüglich Kraft/Weg erfüllen, kann detailliert nur im Versuch ausgelotet werden.
Der blaue Wedge Holder und die magentafarbenen Wedges besitzen die mechanische Funktion der Positionierung und werden in Kapitel 3.1.24 näher erläutert.

3.1.2 ZG-400102 Clamp

Die Clamp ist die kleinste Baugruppe und besteht entsprechend Abbildung 7 aus eben jener Clamp, einem roten Pin und einer weißen Cap.

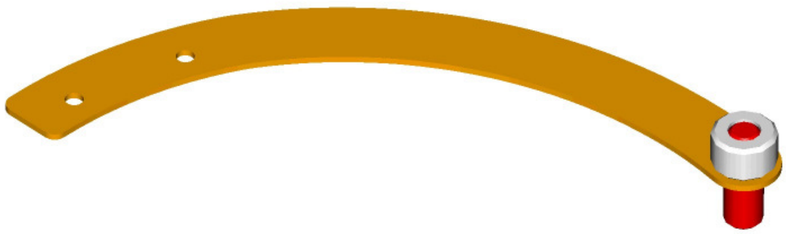


Abbildung 7: Clamp

Mit Hilfe dieser Clamp erfolgt die Positionierung des Digitrings relativ zum Rollbody. Der Pin rastet in einer der 26 Bohrungen des Digitrings ein, sodass eine Teilung von 26 über den gesamten Umfang erreicht wird. Die Clamp wird über Schrauben an der Bushing befestigt.

3.1.3 ZG-400101 Rollbody

Der Rollbody beinhaltet für jede Walze die Chiffrierfunktionalität. Abgegriffen wird das Stromsignal in Analogie zur Reverse Roll nach Abbildung 8 über die zyanfarbenen Pins, welche erneut mit Hilfe von Federkraft an die Contact Pins der vorigen Walze gedrückt werden.

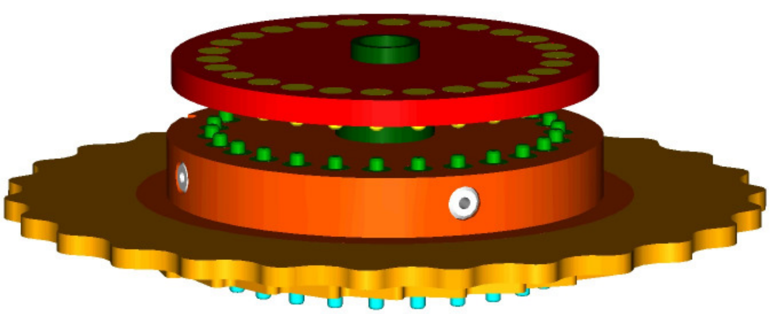


Abbildung 8: Rollbody

Die im orangefarbigen Center Toothed Wheel eingelagerten Federn befinden sich weiter im direkten Kontakt mit den grünen Contact Dies, sodass diese das innerhalb der jeweiligen Walze noch unchiffrierte Signal führen. Durch die spezifische Verdrahtung jener Contact Dies und den gelben Contact Pins wird die Verschlüsselung erreicht. Dabei greift die nachfolgende Walze das resultierende Signal wieder über die Contact Pins ab.
Das orangegelbe Toothed Wheel ist Teil der mechanischen Kopplung mit der Tastatur, welche dafür sorgt, dass sich die Walze bei Tastenbetätigung um einen Zahn weiterdreht.

Diese Funktionalität wird jedoch innerhalb der Kapitel 3.1.12 sowie 3.1.17 detaillierter erörtert. Die Verbindung zwischen der dunkelgrünen Steel Bushing und den Kunststoffscheiben, sowie die Verbindung des Toothed Wheels und des isolierenden Center Toothed Wheels wird über Pressung hergestellt.

3.1.4 ZG-400201-3 Roll

Eine Roll setzt sich aus den beiden Unterbaugruppen Rollbody und Clamp sowie wenigen weiteren Komponenten zusammen. Für das Ergebnis der Chiffrierung ist neben den Verdrahtungen im Rollbody auch die Stellung und Art des blauen Digitrings, welcher am Rand mit den Ziffern 1-26 graviert ist, entscheidend. Diese Ziffern sind nicht im CAD-Modell enthalten, jedoch auf den Zeichnungen dargestellt.

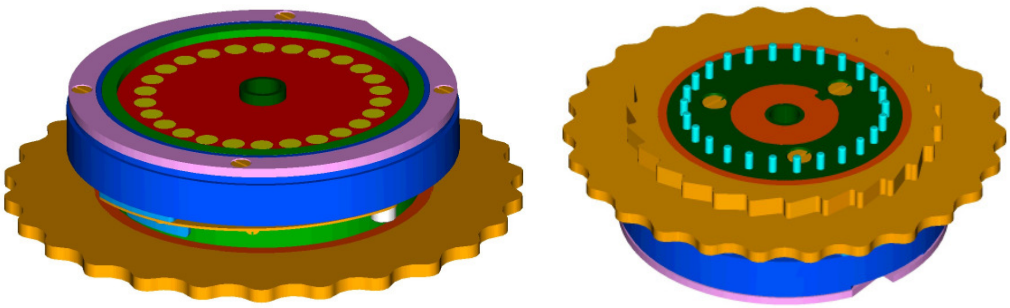


Abbildung 9: Roll

Jeder Ziffer lässt sich eine Bohrung zuordnen, über welche mit Hilfe der Clamp aus Kapitel 3.1.2 der Digitring relativ zum Rollbody ausgerichtet werden kann. Beim Betrachten von Abbildung 9 fällt auf, dass der Digitring weiterhin mit einem pinken Kerfring über Schrauben verbunden ist. Der Kerfring beinhaltet eine Kerbe, deren Funktion die mechanische Kopplung der einzelnen Rolls darstellt, was im Kapitel 3.1.12 näher beschrieben wird.
Die elektronischen Komponenten werden durch die grüne Bushing nach außen hin abgeriegelt, zudem dient sie als Basiselement für die Befestigung der Clamp.

3.1.5 ZG-400301 Rolls

Die Baugruppe Rolls versammelt bei der vorliegenden Enigma drei einzelne Rolls auf einem orangen Shaft. Die Stellung der einzelnen Rolls zueinander ist, wie bereits in Kapitel 1.2 angesprochen, ausschlaggebend für das Chiffrierergebnis.

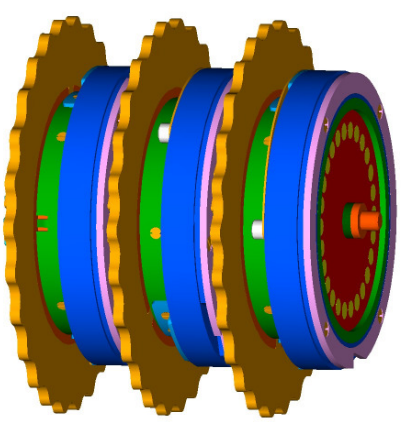


Abbildung 10: Rolls

Die verschiedenen Rolls unterscheiden sich neben der spezifischen Verdrahtung allein in ihren Digitringen, welche eine versetzte Ziffernprägung besitzen und somit eine unterschiedliche relative Ausrichtung des Kerfrings bewirken. Im eingebauten Zustand kann die aktuelle Stellung der Rolls aufgrund der durch ein Sichtfenster ablesbaren Ziffernfolge der drei Digitringe erkannt werden.

3.1.6 ZG-100101 Lever Assembly

Das Lever Assembly dient der Öffnung und dem erneuten Verspannen der gesamten Chiffriereinrichtung, bestehend aus den drei Rolls und der Reverse Roll.

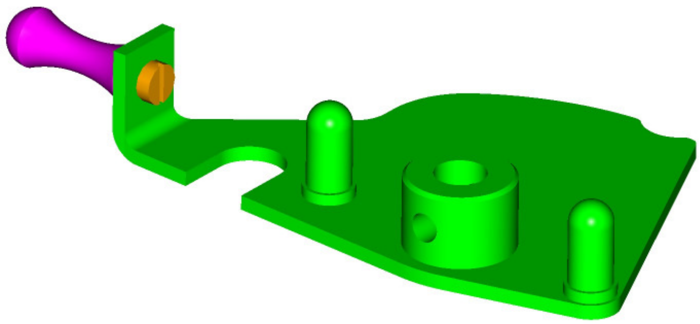


Abbildung 11: Lever Assembly

Da dieser Vorgang lediglich beim Auswechseln der Rolls oder beim neuen Ausrichten vom diesen zueinander stattfindet, wird der Lever per Hand betätigt. Die beiden grünen Dome sind die eigentlichen Spannelemente und werden im Kapitel 3.1.24 nochmals angesprochen.

3.1.7 ZG-100102 Button Short Assy

Die Form des Tastaturfeldes bedingt drei unterschiedlich lange Buttons. Das Button Short Assy wird folglich in der ersten und gleichzeitig niedrigsten Reihe des Feldes eingesetzt. Jeder der Buttons beinhaltet einen leicht abnehmbaren Kopf, welcher über Stifte mit dem weißen Button Short verbunden ist. Diese Flexibilität ist notwendig, um eine einfache Buttonmontage im Tastaturfeld zu ermöglichen.

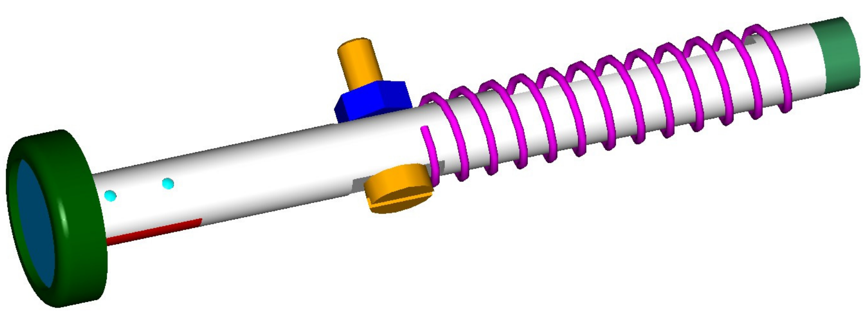


Abbildung 12: Button Short Assy

Die magentafarbene Spring erlaubt nach jedem Tastendruck die Rückstellung des Buttons. Hier gilt, dass die Spring aufgrund den gegebenen Bauraumeigenschaften ausgewählt wird, inwieweit sie dem Anwender jedoch einen angenehmen Anschlagpunkt ermöglicht, bleibt abzuwarten und im Versuch zu erproben.
Die gelborange Screw löst beim Drücken des Buttons den elektrischen Kontaktschluss aus. Gleichzeitig ist, wie bereits zuvor angesprochen, jede Betätigung des Buttons mit

der mechanischen Drehung der Rolls gekoppelt. Aus diesem Grund ist am unteren Ende des Button Short der grüne Plastic Plug implementiert, welcher eben diese Funktionalität ohne Klickgeräusche auslöst. Um eine Verdrehung des Buttons während der Nutzung zu verhindern, beinhaltet der Button Short eine lange Flachstelle, deren Einsatz in Kapitel 3.1.24 deutlich wird. Weiterhin muss beim Einsatz der Papierbuchstaben auf eine senkrechte Ausrichtung der Schrift zum roten Button Head Bottom geachtet werden.

3.1.8 ZG-100103 Button Medium Assy

Die Baugruppe ist prinzipiell identisch mit dem Button Short Assy aus 3.1.7. Der Unterschied liegt, wie aus Abbildung 13 ersichtlich, im längeren weißen Button Medium, da diese Buttons in der zweiten Reihe des Tastaturfeldes eingesetzt werden.

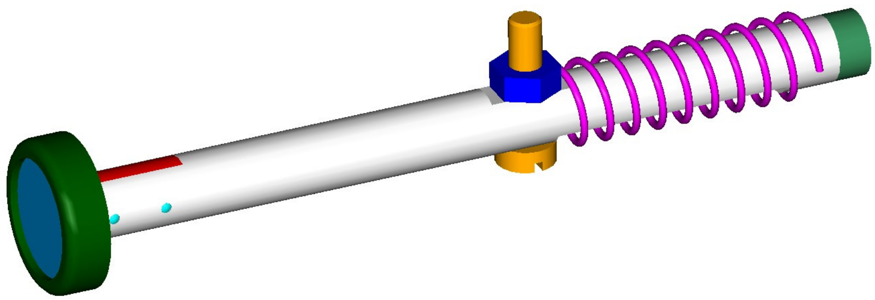


Abbildung 13: Button Medium Assy

3.1.9 ZG-100104 Button Long Assy

Im Groben entspricht auch dieser Button dem Button Short Assy unter 3.1.7. Da dieser Button in der hintersten Reihe des Tastaturfeldes Verwendung findet, entfällt jedoch nach Abbildung 14 die bekannte Rückstellfeder. Stattdessen sind zwei gelborange Screws vorhanden. Die rechte Screw dient erneut der Betätigung des elektronischen Kontaktes. Die zweite, welche mit dem hellblauen Sleeve ummantelt ist, erfüllt nun die Funktion der Rückstellung. An ihr wird später im verbauten Zustand eine Zugfeder montiert, dies ist unter Abschnitt 3.1.24 dargestellt.

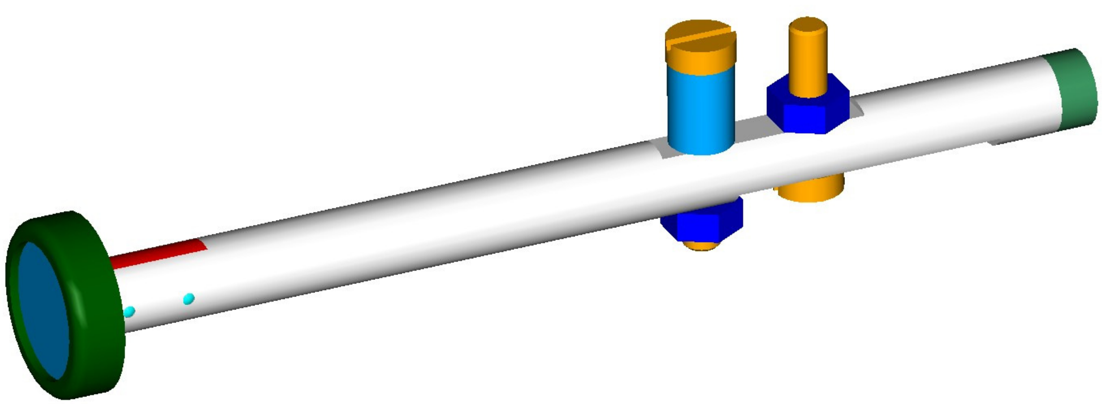


Abbildung 14: Button Long Assy

3.1.10 ZG-10105 Lamp Holder

Im Lamp Holder werden die Glühbirnen eingesetzt, welche durch Aufleuchten die Ausgabe des chiffrierten Signals kennzeichnen. Um die Glühbirnen zu lagern, sind nach Abbildung 15 im gelben Lamp Holder 26 Fassungen integriert. Augenblicklich entsprechen diese Fassungen der genormten Größe E10, werden aber andere Glühbirnen eingesetzt, so muss die Fassung gegebenenfalls angepasst werden.

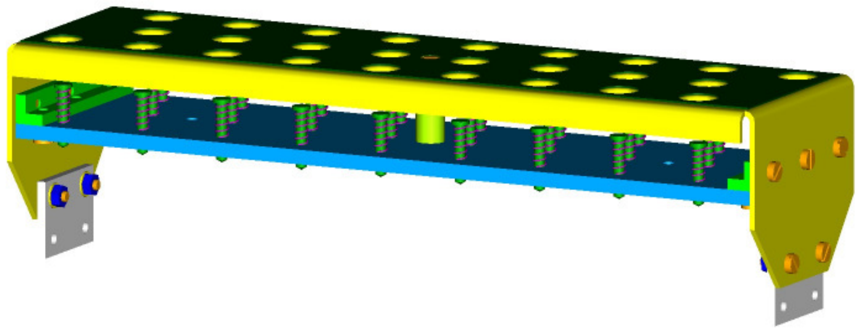


Abbildung 15: Lamp Holder

Der Schließung des Stromkreises jeder einzelnen Glühlampe erfolgt einerseits über die Betätigung des elektronischen Kontaktes mit Hilfe eines Tastendruckes und weiterhin über den Anschluss des Lamp Holders und der dunkelgrünen Spring Pins. Schematisch ist dies bereits in Abbildung 2 aufgeführt. Somit wird der Lamp Holder im Betrieb stets von Strom durchflossen, weshalb er mit einer isolierenden Isolater Plate bedeckt ist.
Da die einzelnen Glühbirnen in ihrer Form geringfügig variieren können, sind die dunkelgrünen Spring Pins mit magentafarbenen Springs versehen und am unteren Ende mit Lock Washers gesichert. Somit passen sie sich an jede Länge der Glühbirnen an und diese weisen stets dieselbe Einschraubtiefe auf.

3.1.11 ZG-100106 Access Roll

Die Access Roll steht am Anfang und Ende des Signalflusses durch die unterschiedlichen Rolls, beeinflusst das Ergebnis der Chiffrierung jedoch nicht. Gleichzeitig ist sie die einzige Roll, welche für jede Enigma eine feste, unveränderliche Position aufweist, zumal sie über Schrauben fest mit deren Gehäuse verbunden ist.

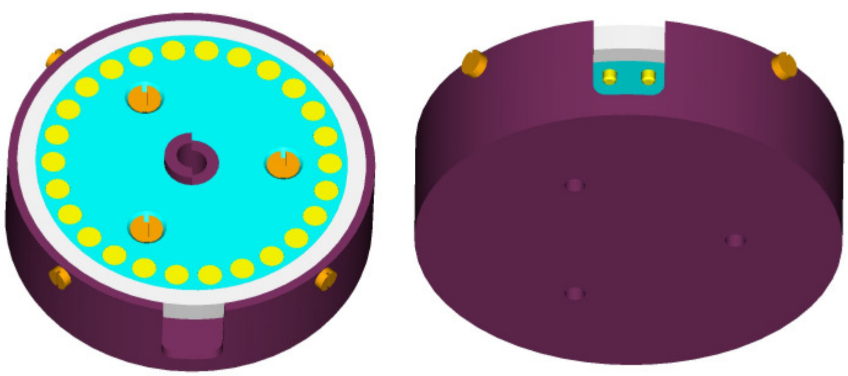


Abbildung 16: Access Roll

Durch die in Abbildung 16 dargestellte Aussparung in der lilafarbenen Access Roll wird ein Kabelbaum geführt, der direkt mit den elektronischen Kontakten verbunden ist. Jeder der 26 gelben Contact Pins ist demnach einem Kontakt und somit einer Buchstabentaste zugeordnet. Über diese Contact Pins greifen dann die Pins der ersten Walze das noch unverfälschte Signal ab.

Um eine Montage der hellblauen, aus isolierendem Material hergestellten Access Plate zu ermöglichen, wird sie zunächst in einen stählernen weißen Access Ring eingepresst und dann anschließend mit der Access Roll verschraubt.

3.1.12 ZG-100107 Compensator

Über den Compensator erfolgt die eigentliche mechanische Kopplung von Walzen und Tastatur. Im vorderen Bereich sind für die Berührpunkte mit den Tasten im roten Compensator drei durchgehende Querstege vorgesehen, was aus Abbildung 17 ersichtlich wird. Im weiteren Quersteg erfolgt die Lagerung des Compensators. Dies hat zur Folge, dass bei jedem Tastendruck der hintere Teil mit den drei blauen Drivern nach oben wippt.

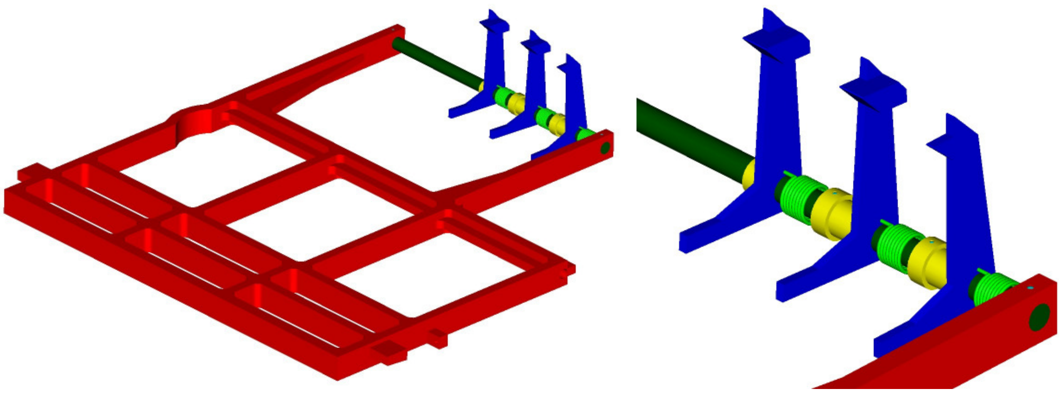


Abbildung 17: Compensator

Diese Driver sind drehbar auf der Axle Compensator gelagert, weswegen sie durch die grünen Torsionsfedern an die einzelnen Rolls gedrückt werden. Der rechte Driver Thin greift daher ständig in einen der Zähne der zugehörigen Roll ein, und veranlasst sie somit pro Tastendruck, sich um einen Zahn weiterzudrehen.
Die beiden breiteren Driver Thick sind jedoch so gestaltet, dass sie gleichzeitig in einen Zahn der zugeordneten Roll und in die Kerbe des Kerfrings der vorigen Roll eingreifen. Da der Kerfring über den gesamten Umfang nur eine Kerbe besitzt, bedeutet dies auch gleichzeitig, dass der Driver nur einmal pro Umdrehung der vorderen Roll in einen Zahn der zugehörigen Roll einrasten kann und diese veranlasst, sich weiterzudrehen. Somit ergibt sich die Drehhäufigkeit der einzelnen Rolls zu 26^2:26:1.
Mit Hilfe der gelben Sleeve erfolgt die einseitige Ausrichtung der Driver. Für den zweiten Anschlag haben die Torsionsfedern zu sorgen, deren Schenkel hierfür auf die richtige Länge gekürzt werden müssen. Gleichzeitig ist dafür Sorge zu tragen, dass die Federn nur in Windungsrichtung belastet werden.

3.1.13 ZG-100108 Roll Retainer Assy

Das Roll Retainer Assy in Abbildung 18 sorgt für die Festlegung der Ausgangspositionen der Rolls.

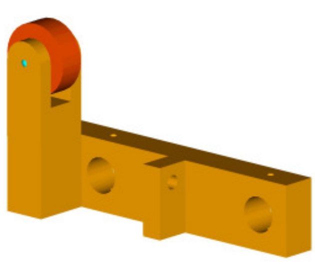


Abbildung 18: Roll Retainer

Seine orangefarbene Roll Lever läuft dabei entlang einem vom Lever Assy definierten Spline und sorgt somit für die Abstandsveränderung der Fixiereinrichtungen. Genauer wird die Funktion in Kapitel 3.1.18 erörtert.

3.1.14 ZG-100109 Axle Bottom

Die Axle Bottom beinhaltet die drehfreie Lagerung der magentafarbenen Centering Devices und der als Abstandshalter vorgesehenen grünen und orangen Sleeves nach Abbildung 19, welche über Stiftverbindungen fixiert werden.

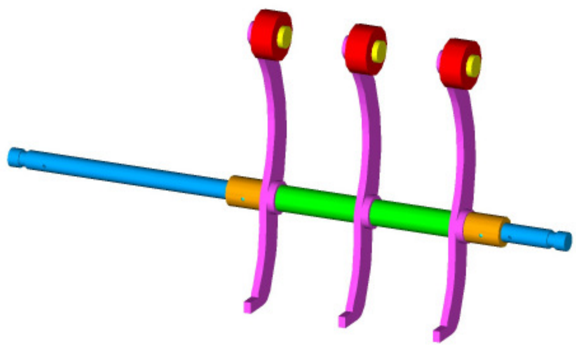


Abbildung 19: Axle Bottom

Da die Centering Devices, wie in Kapitel 3.1.17 erläutert, der radialen Ausrichtung der Rolls dienen, weisen sie eine leichte Drehbarkeit um die Axle Bottom auf. Aus diesem Grund muss die Schnittstelle zu den Sleeves ausreichendes Spiel beinhalten.

3.1.15 ZG-100110 Patch Panel

Das Patch Panel ist das Steckbrett der Enigma und somit, wie bereits im einleitenden Kapitel 1.2 vorgestellt, die technische Erweiterung der Chiffriermöglichkeiten.

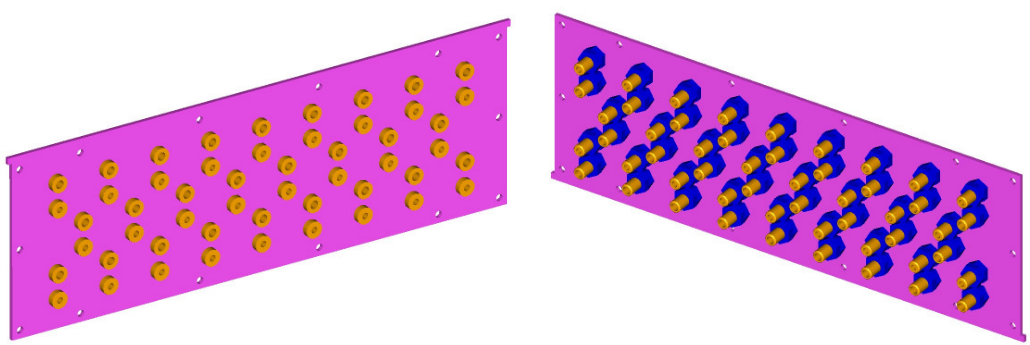


Abbildung 20: Patch Panel

Allen in der Oberfläche des Patch Panels eingravierten Buchstaben, welche jedoch nicht im Modell enthalten sind, sind dabei analog zu Abbildung 20 zwei Steckerbuchsen zugeordnet. Diese bestehen aus einem orangegelben Input Jack Big, Input Jack Small und jeweils vier blauen Kontermuttern. Die speziell benötigten Stecker besitzen hierfür jeweils einen kleinen und großen Pin und koppeln immer zwei Buchstaben. Die weiteren elektronischen Feinheiten dieser Baugruppe bleiben jedoch bisher nicht berücksichtigt.

3.1.16 ZG-100111/100112 Bent Low/High

Die Enigma besitzt zahlreiche bewegliche Komponenten, welche beispielsweise aufgrund ihrer Vorspannung an Anschlägen gehalten werden müssen. Diese Aufgabe erfüllen die in die Baseplate einschraubbaren Bents aus Abbildung 21.

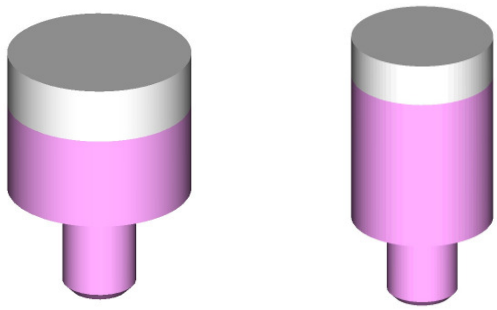


Abbildung 21: Bent Low/High

Um einen Kontakt von Metall auf Metall zu vermeiden, wird auf die Bents eine weiße elastische Schicht aufgepresst. Die Konstruktion sieht augenblicklich hierfür den weichen Kunststoff POM-C vor. Besitzt dieser dennoch eine zu hohe Härte, dann muss auf einen textilen Werkstoff übergegangen werden.

3.1.17 ZG-100113 Centering Device

Die Centering Device dient der radialen Ausrichtung der Rolls. Diese ist notwendig, da die Pins einer Roll jeweils das Signal von den vorliegenden Contact Pins abgreifen, folglich müssen diese räumlich übereinanderliegen, so dass ein Kontaktschluss für beliebige Stellungen gewährleistet werden kann.

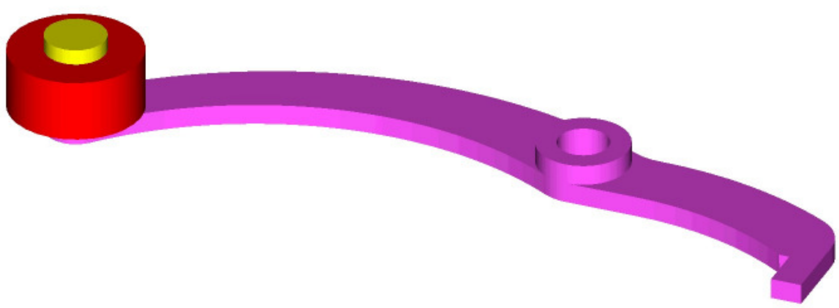


Abbildung 22: Centering Device

Jede Roll besitzt nach Abbildung 9 neben der Keilverzahnung eine weitere Verzahnung mit Kreisbogenprofil. Auf diese Verzahnung ist die rote Roll Centering Device angepasst, welche in dieser einrastet und somit die Roll unter einem bestimmten Winkel fixiert.
Gleichzeitig wird bereits früher vermerkt, dass sich die Rolls beim Betätigen der Tasten drehen. Für diesen Moment wird folglich die Arretierung kurzzeitig aufgehoben. Hierzu muss der Anwender bei jedem Tastendruck das Vorspannungsmoment der Druckfeder überwinden, welche am rechten Ende der magentafarbenen Centering Device, dargestellt in Abbildung 22, angreift und die Centering Device in Richtung der Rolls auslenkt. Deutlicher wird dieser Mechanismus in Kapitel 3.1.23.

3.1.18 ZG-100114 Axles

Die Axles erweitern die Funktionalität der Centering Devices mit Hilfe des Roll Retainer Assys. Wie bereits in Kapitel 3.1.13 angedeutet, ist das Roll Retainer Assy mit dem Lever

Assy gekoppelt, welches zum axialen Öffnen und Vorspannen der Rolls zueinander eingesetzt wird. Parallel werden die Rolls über die Centering Devices auch in ihrem radialen Freiheitsgrad eingeschränkt.

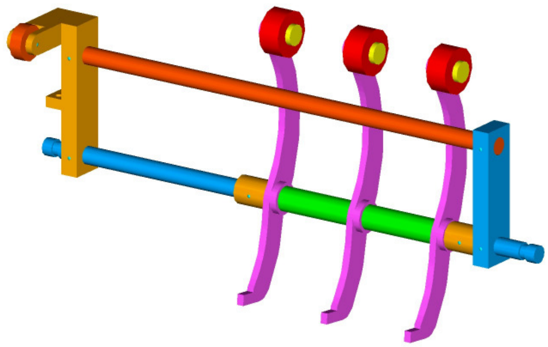


Abbildung 23: Axles

Beim Austausch der Rolls oder deren Neuorientierung müssen sie jedoch frei beweglich sein. Beim Öffnen des Levers klappt das Roll Retainer Assy aufgrund des Leverdesigns von den Rolls weg. Dies wird durch die drehfreie Lagerung der blauen Axle Bottom ermöglicht. Aus Abbildung 23 wird deutlich, dass die Drehung über die orange Axle Top auf die Centering Devices übertragen wird. Somit sind alle Rolls bei geöffnetem Lever in ihren axialen und radialen Freiheitsgraden beweglich.

3.1.19 ZG-100115 Core

Der Core findet im Lamp Holder nach Kapitel 3.1.10 als mittige Stütze Einsatz. Da der Lamp Holder zu den von elektronischen Komponenten bestimmten Baugruppen zählt, ist es notwendig, den in Abbildung 24 dargestellten Core mit einer isolierenden Schicht zu verkleiden. Aus Gründen der Festigkeit und Montage ist ein eingepresster Kern aus Stahl jedoch weiterhin erforderlich.

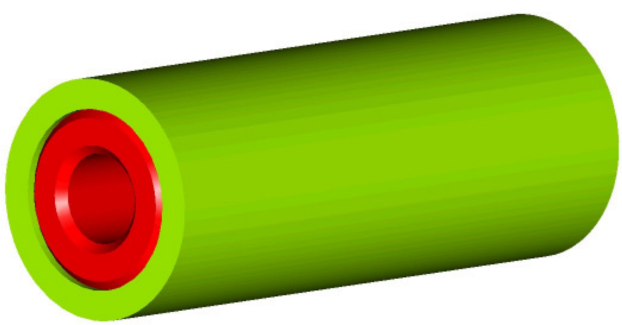


Abbildung 24: Core

3.1.20 ZG-100116 Baseplate

Die Baseplate analog zu Abbildung 25 beinhaltet die meisten tragenden und starren Komponenten der Enigma. Als Besonderheit wird an dieser Stelle das hohe Gewicht der grünen Baseplate angefügt. Mit etwa vier Kilogramm Einzelgewicht stellt sie sicher, dass bei einem verlorenen Kampf auf hoher See die Maschine schnell genug untergeht.
In Kapitel 3.1.18 wird die drehfreie Lagerung der Axle Bottom angesprochen, welche sie zunächst einseitig im blaugrünen Bearing Block Right findet. Das angeschraubte gelbe Protection Sheet übernimmt die axiale Sicherung der Axle Bottom und verhindert weiterhin ein Eindringen von Verschmutzungen in die Lagerstelle.

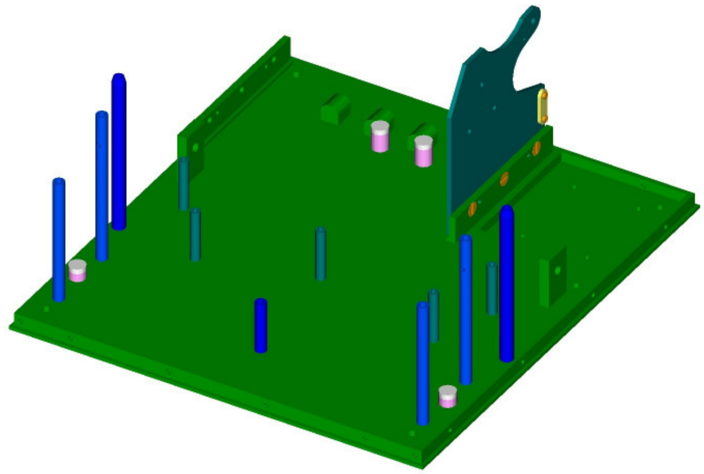


Abbildung 25: Baseplate

Weiterhin muss in Erwägung gezogen werden, ob die Baseplate, im Original ein Gussteil, aus einem Stück gefertigt wird. Das würde im vorliegenden Fall bei einem Fräsvorgang aus dem Vollen aufgrund der wenigen, jedoch hohen Dome ein enormes Aufkommen von Zerspanung bedeuten.

3.1.21 ZG-100117 Contactor Plate

Die Contactor Plate dient der Ausrichtung und Führung der einzelnen Tasten, sowie als Anschlag für deren Rückholfedern.

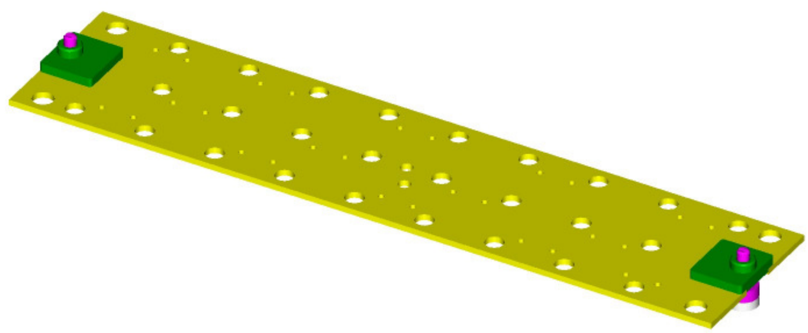


Abbildung 26: Contactor Plate

Weiterhin sind an den Enden zwei grüne Stop Plates eingepresst, die Gewindeeinsätze enthalten. Diese stellen die Führung für die laut Abbildung 26 magentafarbenen Stop Pins dar, welche, in Analogie zu den Bents aus Kapitel 3.1.16, ebenfalls mit der selben weißen Bent Cap überzogen sind und erneut als Anschläge fungieren.
Aufgrund der Schraubverbindung sind nun die Stop Pins in ihrer Höhe variabel, denn sie stellen den oberen Anschlagpunkt des Compensators dar. Somit wird vermieden, dass dieser etwa die einzelnen Tasten nach oben drückt.

3.1.22 ZG-100201 Rack I

Die Baugruppe Rack I beinhaltet die größten Komponenten der Enigma mit Ausnahme der Walzenumgebung.
Da der Compensator, wie aus Abbildung 27 ersichtlich, beinahe unter der gesamten Maschine durchführt, ist dieser als erstes an die beiden Dome der Baseplate anzubinden. Es ist darauf zu achten, dass er mit genügend Spiel gelagert ist, da ansonsten eine zusätzliche Kraft beim Betätigen der Tasten aufgebracht werden muss.

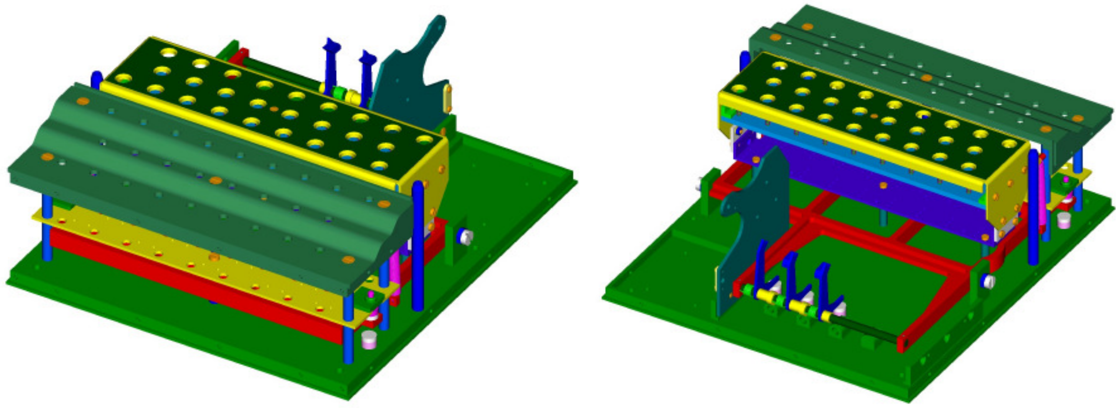


Abbildung 27: Rack I

Nun offenbart sich auch der Zweck der Bents. Diese werden im vorderen Bereich als untere Anschlagpunkte für den Compensator eingesetzt. Im Bereich der Walzen dienen sie den vorgespannten Drivern als Abstützung. Deutlich tritt nun auch der frei gehaltene Bauraum für den Batteriekasten im rechten hinteren Maschinensegment hervor.

3.1.23 ZG-100301 Rack II

Wie in Abbildung 28 erkennbar ist, wird die Baugruppe Rack I aus Kapitel 3.1.22 um die Walzenumgebung zum Rack II ergänzt. Dabei ist entscheidend, dass zunächst die Axles in den vorhandenen Bearing Block Right eingesetzt werden bevor der zweite blaugrüne Bearing Block Left befestigt wird, da die Axles ansonsten nicht mehr gefügt werden können.

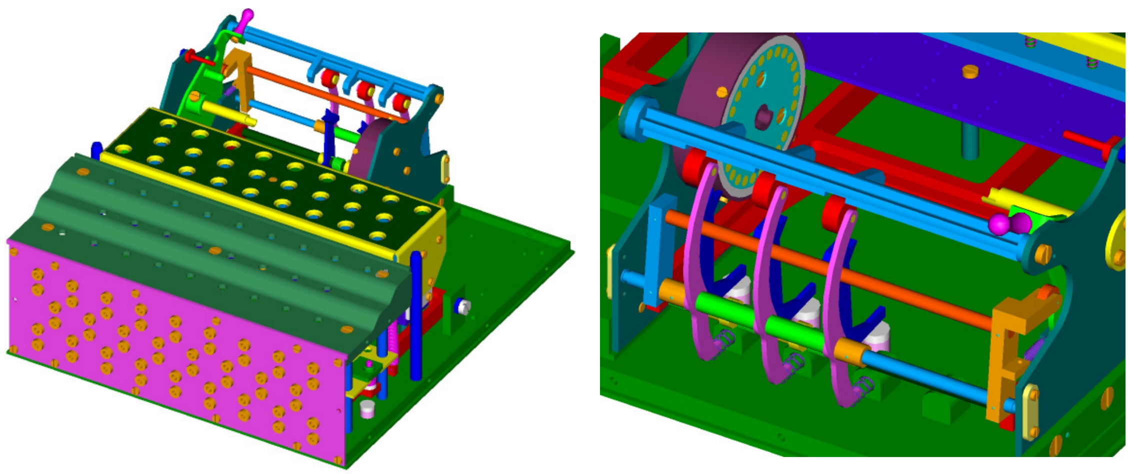


Abbildung 28: Rack II

Um die Centering Devices, wie in Kapitel 3.1.17 bereits angesprochen, unter eine Vorspannung zu setzen, finden die direkt vor den Centering Devices platzierten drei Dome der grünen Baseplate Verwendung. Dazu werden analog zu obiger Abbildung in die mit Bohrungen versehenen Dome magentafarbene Druckfedern eingesetzt. Im Anschluss daran werden die Spitzen der Centering Devices jeweils in die Durchmesser der Federn geführt. Die Auswahl der Federn sollte nun so sein, dass eine gemäßigte Steifigkeit erreicht wird.
Die Montage des im Frontbereich liegenden magentafarbenen Patch Panels kann auch durchaus als einer der letzten Schritte erfolgen, da es bis zuletzt frei zugänglich ist.

3.1.24 ZG-101000 Rack

In der abschließenden Baugruppe Rack finden alle innerhalb dieser Arbeit entwickelten Bauteile Verwendung. Somit verkörpert die Darstellung in Abbildung 29 eine mechanisch funktionierende intakte Einheit.

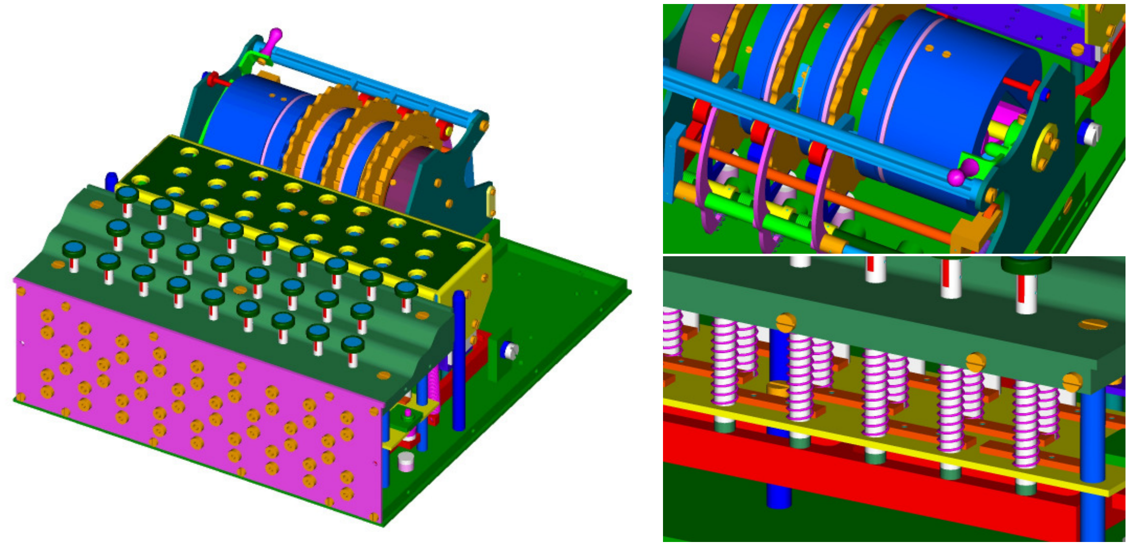


Abbildung 29: Rack

Die Buttons müssen alle so eingesetzt werden, dass die Screws, welche die elektronischen Kontakte betätigen, nach hinten, in Richtung der Rolls weisen. Zunächst besitzen die Buttons in axialer wie auch radialer Richtung Freiheitsgrade und bedürfen somit einer Absicherung gegenüber Verdrehen, damit die Schließung der Kontakte jederzeit gesichert wird, sowie eines Anschlags nach oben, um die Wirkung der Rückstellfedern zu gewähren.
Aus diesem Grund werden auf der Contactor Plate über Stifte die orangen Anti Twist Devices angebracht, welche die Freiheitsgrade der Buttons einschränken. Inwiefern die Pressung der Stiftverbindung im Bezuge auf die Kraft der Rückstellfedern gestaltet sein muss, sollte ebenfalls im Versuch untersucht werden.
Im Bereich der Rolls wird nun die Funktion der magentafarbenen Wedges aus Kapitel 3.1.1 offenbar. Durch den nach obiger Abbildung in das blaue Cabinet der Reverse Roll eingreifenden roten Locating Pin besitzt die Reverse Roll lediglich noch ihren axialen Freiheitsgrad, welcher über den grünen Lever bestimmt wird. Dessen beide Dome, detailliert in Abbildung 11, gleiten nun bei einer Drehung des Levers auf den keilförmigen Wedges und variieren den axialen Bauraum der Rolls, die somit geöffnet oder verspannt werden.

3.2 Normteilkatalog

Innerhalb der vorliegenden Ausführungen werden Schrauben, Muttern, Stifte, Federn sowie Scheiben eingesetzt. Sie sind auf den Baugruppenzeichnungen hinreichend gekennzeichnet. Allgemein wird darauf geachtet, dass die Komponenten in ihren Dimensionen der Norm entsprechen und weiterhin leicht erhältlich sind.

Schrauben Es finden Zylinderschrauben und Senkschrauben mit Schlitz nach DIN EN ISO 1207 beziehungsweise DIN EN ISO 2009 Verwendung. Aufgrund der oftmals kleinen Bauteildimensionen ist der Einsatz der Gewinde M1.2 und M1.6 unumgänglich, welche bereits der Feinwerktechnik zuzuordnen sind. Insgesamt werden ausschließlich Schrauben mit genormten Nennlängen eingesetzt.

Stifte Die vorgesehenen Stifte entsprechen der Norm DIN EN 28734. Dies bedeutet, dass die Zylinderstifte gehärtet sind und den Durchmesser der Passung m6 besitzen. Zudem wird die Form A gewählt, welche neben der Art des Stiftendes durch Fase und Kuppe mit dem Merkmal „durchgehärtet" spezifiziert werden kann.

Muttern Als Muttern werden sowohl Sechskantmuttern normaler Höhe, sowie der niedrigen Form eingesetzt, entsprechend DIN EN 24032 beziehungsweise DIN EN 24035.

Scheiben Zum einen werden Scheiben der Produktklasse A nach DIN 135 T1 als gewöhnliche Unterlegscheiben verwendet. Weiterhin werden Scheiben der DIN 6799 zur Sicherung kleiner Wellen mit vorgesehener Nut benötigt.

Federn Die Federn sind die einzigen Normteile, denen Einzelteilzeichnungen zugeordnet sind. Wie bereits im Laufe des Berichts vermerkt, kann für einige Positionen der Enigma die Abschätzung der benötigten Federkraft erst im Versuch erfolgen, indem etwa der optimale Tastendruck ermittelt wird. Die Zeichnungen liefern dann somit einen Anhaltspunkt an die neu zu wählende Federndimension. Ebenso frei ist augenblicklich die Wahl des zugehörigen Werkstoffes.
Dennoch sind die ausgewählten Federn Standardkomponenten und so in ihrer jetzigen Form erhältlich. Sie entstammen alle dem Lagerkatalog der Firma Gutekunst, welche im Internet unter www.federnshop.com zu finden ist.

4 Datenverwaltung

4.1 Aufbau der Zeichnungen

Gemäß der Formulierung, die Zeichnungen stellten die Sprache des Ingenieurs dar, wird auf eine ordentliche und übersichtliche Strukturierung der Zeichnungen geachtet. Diese beinhalten, zusammen mit den Stücklisten, alle Informationen, welche zur Fertigung der Enigma notwendig sind.
Da die Enigma innerhalb eines 3D-CAD-Systems erstellt wird, sind die Zeichnungen mit den jeweiligen Komponenten verknüpft, weswegen die Strukturierung der Zeichnungen der der Baugruppen unter 3.1 entspricht. Weiterhin ist aufgrund der oftmals nicht zu vermeidenden gleichen Namensgestaltung ein eindeutiges Nummerierungssystem erforderlich. Dieses besteht aus dem beliebig gewählten Vorsatz ZG sowie einer folgenden sechsstelligen Ziffer, welche in Abbildung 30 im Zeichnungskopf ersichtlich ist.

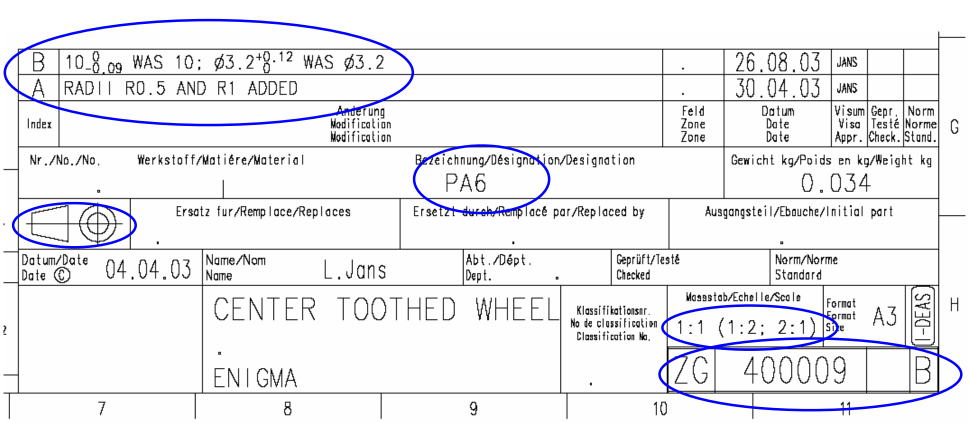


Abbildung 30: Zeichnungskopf

Diese Nummer wird bei vollzogenen Zeichnungsänderungen, die etwa aufgrund von Geometrievariationen des Bauteils oder dessen Werkstoff notwendig sind, durch einen aktuellen Index, in obigem Beispiel Index B, ergänzt. Diese triviale Vorgehensweise muss sorgfältig umgesetzt werden, nur so kann eine ordentliche Zeichnungspflege aufrecht gehalten werden und sichergestellt werden, dass nicht zwei eigentlich identische Zeichnungen verschiedene Stände aufweisen. Weiterhin wird zur leichteren Orientierung die jeweilige Änderung hinter dem Index vermerkt.
Als zusätzliche Information ist die Angabe von Werkstoff und resultierendem Gewicht hilfreich. So wird der Blick in die jeweilige Stückliste erspart. Des weiteren ist der Maßstab ein wichtiges Merkmal, welches die grobe Größenordung des Bauteils angibt.
Einen zusätzlichen Hinweis enthält die im Zeichnungskopf vermerkte Art der Klappung. Diese entspricht aufgrund der Norm der Normalprojektion. Nur mit diesem Wissen kann ein Bauteil explizit dargestellt werden.
Grundsätzlich kann zwischen Einzelteilzeichnungen und Baugruppenzeichnungen unterschieden werden, wobei letztere im Rahmen dieser Arbeit immer in Form von Explosionszeichnungen auftreten. Anstelle von Bemaßungen weisen sie die einzelnen Komponenten auf und beinhalten eine Stückliste, welche in nachfolgender Abbildung 31 exemplarisch dargestellt ist.

1	KNOB LEVER	100043	3	X12Cr13	DIN EN 10088-3
1	SCREW M3x6	.	2	.	DIN EN ISO 1207
1	LEVER	100006	1	X12Cr13	DIN EN 10088-3
NR.	PARTNAME	PART.-NR.	POS.	MATERIAL	SPECIFICATION

Abbildung 31: Integrierte Stückliste

Die Auflistung der Teilenummer ermöglicht einen raschen Zugriff auf die Einzelteilzeichnung jedes Bauteils, oder auf eine untergeordnete Baugruppenzeichnung. Diese Angabe entfällt für Normteile, hier ist jedoch eine eindeutige Klassifizierung durch die jeweilige Norm ausreichend.
Für die drei großen Baugruppen, das Rack, die Reverse Roll und die Rolls, sind von den Zeichnungen unabhängige Stücklisten vorhanden, wobei insbesondere die Stückliste des Racks eine rasche Übersicht über alle verwendeten Bauteile ermöglicht.

4.2 CAD-System

Die Modellierung der Enigma erfolgt mit Hilfe des CAD-Programmes IDEAS. Es wird die Version MasterSeries 9m2 verwendet, die zu allen höheren Versionen kompatibel ist. IDEAS unterscheidet sich bezüglich der Datenverwaltung von anderen Systemen. So erfolgt die Speicherung der Daten, wie beispielsweise der Baugruppen oder Zeichnungen, nicht in Modelfiles, sondern in Bibliotheken, auf welche jeder User Zugriff hat.
Weiterhin findet zur Zeit eine Verschmelzung der beiden Systeme Unigraphics und IDEAS statt, sodass nicht voraussehbar ist, inwiefern die bisherige Struktur von IDEAS erhalten bleibt. Jedoch sollen die Daten auch für spätere Projektschritte verwendbar und modifizierbar bleiben, gegebenenfalls findet die Weiterentwicklung des Projektes unter Verwendung eines anderen CAD Systems statt.
Aus diesem Grund enthält die beiliegende CD auch unterschiedlichste Datentypen, die nachfolgend erklärt werden.

LibraryData Originaldaten von IDEAS besitzen den Charakter von Bibliotheksdaten. Um damit eine weitere Arbeit zu ermöglichen, sind allen Daten sämtliche Änderungsrechte zugeordnet. Wird somit im weiteren Projektverlauf erneut das System IDEAS, oder eine neue Version von UG, verwendet, so sollte zweifelsfrei auf diese Daten zugegriffen werden. Denn sie beinhalten die

Historie der Bauteile und halten die geschaffenen Assoziativitäten zwischen den Bauteilen untereinander sowie zu deren Zeichnungen aufrecht. Es muss jedoch beachtet werden, dass solche, mit allen Rechten versehenen Daten, nur einmal in ein verteiltes System importiert werden, ansonsten kann das Vorgehen zu administrativen Problemen führen.

Step Das Step-Format ist ein genormtes Austauschformat von 3D-CAD Informationen und kann als Schnittstelle zwischen beinahe allen gängigen Systemen verwendet werden. Da diese Schnittstelle die Abbildung von Baugruppenstrukturen ermöglicht, kann somit die gesamte Enigma im Step-Format abgebildet werden. Jedoch gehen hierdurch sämtliche Beziehungen zwischen den Komponenten verloren, die Bauteile besitzen keine Historie und die Zeichnungsdaten lassen sich auf diese Weise nicht übertragen, so dass es zum Bruch der hilfreichen Assoziativitäten zwischen den Zeichnungen und den Bauteilen kommt.

Iges Das Format entspricht in seinem Charakter dem des Step, es finden jedoch andere Schnittstellenparameter Verwendung. Folglich kann es vorkommen, dass zwischen zwei beliebigen Systemen diese Schnittstelle gegenüber dem Step bessere Übertragungsergebnisse liefert. Im Zweifel sollten beide Formate Verwendung finden.

DXF Die einzige Möglichkeit, Zeichnungsdaten in ein anderes CAD-System zu transferieren, wird durch die Übertragung per DXF gebildet. Nun stellen jedoch die Geometriedaten keine assoziativen Körperkanten mehr dar, sondern sind beliebige zweidimensionale Linien, die einfach gelöscht werden können. Weiterhin werden die Zeichnungen häufig „zerschossen", so dass das reine ursprüngliche Layout nicht erhalten bleibt. Die Folge ist meist eine Neuerstellung der Zeichnung.

PDF Eine weitere Konservierungsform der Zeichnungen stellt lediglich das universell einsetzbare PDF dar. Hiermit kann der Entwicklungsstand stets für alle Mitarbeiter zugänglich dokumentiert werden.

Abschließend ist eine Unterscheidung zwischen den beiden Betriebssystemen Unix und Windows notwendig. Für die allgemeinen Austauschformate Step, Iges, DXF sowie PDF müssen keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden.
Für die LibraryData gilt jedoch, dass sie auf das jeweilige Betriebssystem zugeschnitten sind und folglich bei einem Systemwechsel eine Konvertierung benötigen. IDEAS startet beim Erkennen eines falschen Betriebssystems in der Regel selbständig eine solche Konvertierung.

5 Ausblick

Am Beginn beschränkte sich diese Arbeit ausschließlich auf die Erstellung eines Zeichnungssatzes für die Walzen. Zum damaligen Zeitpunkt war die Projektplanung recht optimistisch und der Fertigungsstart schien eine Frage von wenigen Wochen zu sein. Bald wurde jedoch sehr deutlich, dass ein fehlendes Konzept und die wenig aussagekräftigen Handskizzen erstens die Arbeit erschwerten und dass weiterhin ein erheblicher Mehraufwand an Arbeit nötig war, wie er sicherlich hätte vermieden werden können.
Die Studenten, welche mit der Fertigung der Bauteile beauftragt worden waren, drängten auf die Aushändigung des Zeichnungssatzes. Jedoch war noch immer nicht geklärt, ob

die detaillierten Bauteile mit den vergebenen Maßen überhaupt zueinander passen würden. Durch die Entscheidung, zunächst eine Simulation mit Hilfe eines modernen CAD Systems durchzuführen, entfernte sich die Fertigung wieder aus dem direkten Blickfeld.
Das Ergebnis dieser Untersuchung war die Neuerstellung sämtlicher Zeichnungen, so dass das Resultat dieser Arbeit schließlich einen nahezu vollständigen Zeichnungssatz der Enigma aufweist.
Das Fazit hieraus ist, dass die im Grunde recht triviale Arbeit, sich aufgrund mangelnder Kommunikation und Teamarbeit zu einem echten Mammutprojekt entwickelt hat. Zukünftig müssen diese Punkte zweifelsohne stärker berücksichtigt werden.
Mit dem Ende dieser Arbeit sind zwar die meisten mechanischen Komponenten der Enigma als Zeichnungen vorhanden, es fehlen aber noch die Verkleidungen und der Holzkoffer, sowie sämtliche elektronische Komponenten. Mit Hilfe der auf der CD vorhandenen Daten kann zunächst die Modellierung der restlichen Bauteile adaptiv vorgenommen werden und eine anschließende assoziative Zeichnungsableitung erfolgen.
Es sollte nicht nochmals der Fehler begangen werden, die Zeichnungserstellung mit einem reinen 2D-System zu betreiben.

6 Anhang

Im Anhang sind noch die Abbildungen 32-38 aufgeführt, welche die unterschiedlichen Zustände der Enigmamaschine aufzeigen. Damit soll eine abschließende Hilfestellung zu Funktionalität und Zweck der einzelnen Bauteile gegeben werden. Da sich die Fertigung des Gerätes in der Prototypenphase befindet, ist es gewiss von Vorteil, wenn Kenntnisse über die Enigma schnell erlangt und somit Verbesserungen einfach und anschaulich aufgezeigt werden können.
Der Anhang enthält weiterhin den gesamten Zeichnungssatz basierend auf dem während der Berichterstellung aktuellen Stand. Hinzu kommen dabei die separaten Stücklisten der drei großen Baugruppeneinheiten Reverse Roll, Rolls sowie Rack. Insgesamt gliedert sich der Zeichnungssatz anhand der Ziffernvergabe wie folgt:

ZG-300...	Reverse Roll
ZG-400...	Rolls
ZG-10….	Rack

Die beigefügte CD enthält, wie bereits in Kapitel 4.2 angefügt, den 3D-Datensatz sämtlicher Bauteile und zwar in Form von LibraryData, Step und Iges. Die Zeichnungen sind ebenfalls als LibraryData, DXF und PDF aufgeführt. Weiterhin ist der vorliegende Bericht in elektronischer Form angehängt, sowie alle im Februar 2003 entstandenen Photographien der Originalmaschine.

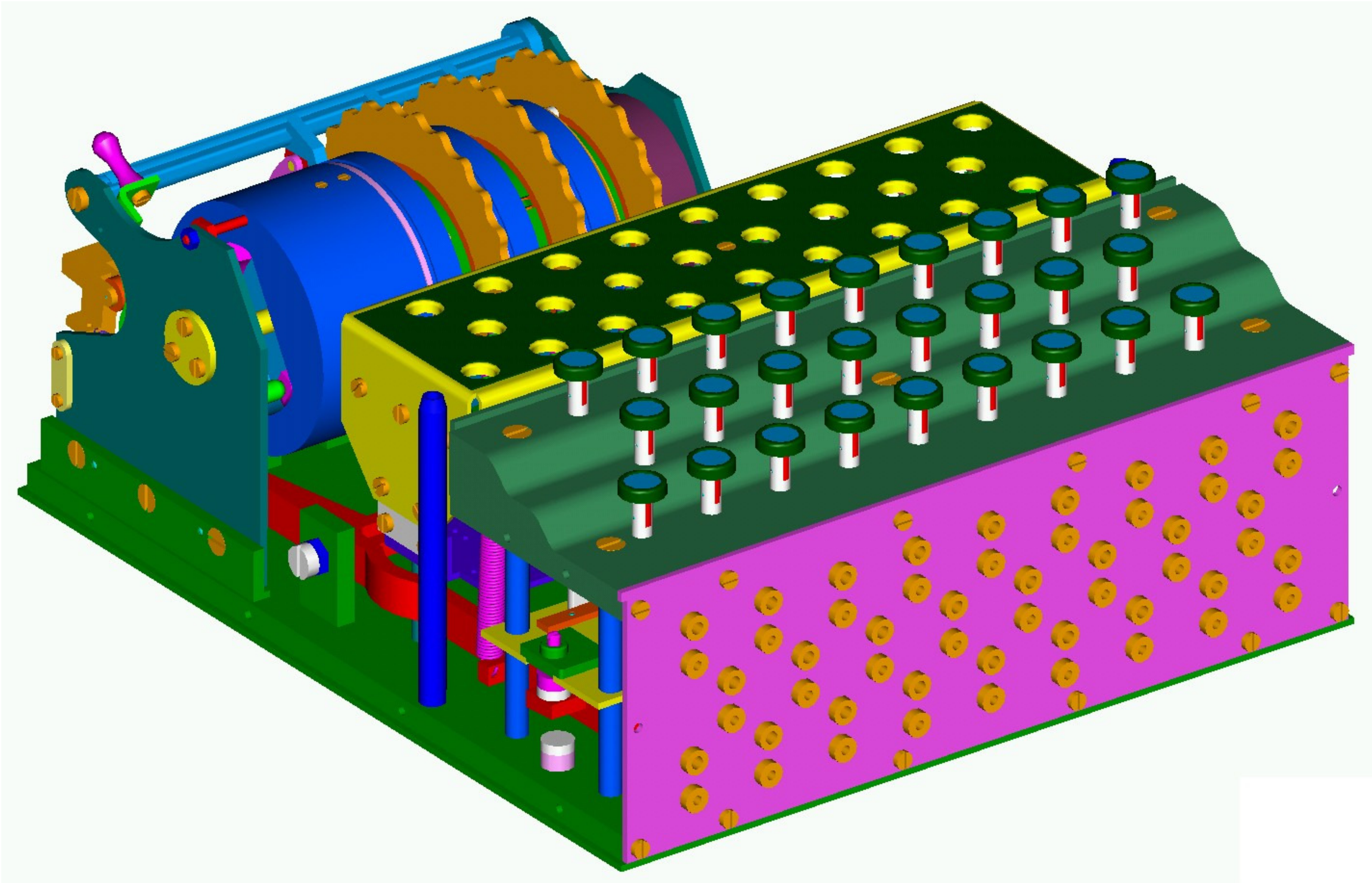


Abbildung 32: Enigma, außer Betrieb



Abbildung 33: Drehung der Roll 1 (nur Driver 1 im Engriff)



Abbildung 34: Drehung der Roll 1 und Roll 2 (Driver 1 und Driver 2 im Eingriff)



Abbildung 35: Drehung von Roll 1, Roll 2 und Roll 3 (alle Driver im Eingriff)



Abbildung 36: Mechanische Wirkung der Buttonbetätigung

Abbildung 37: Geöffneter Lever

Abbildung 38: Geöffneter Lever (Transparente Darstellung des Bearing Block Left und des Cabinets)